

Aus der Augenklinik der Universität München

Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Siegfried Priglinger

# Big Data in der Augenheilkunde

Habilitationsschrift

Zum Erwerb der Venia Legendi

für das Fach

Augenheilkunde

vorgelegt von Dr. med. Karsten Kortüm

2018

## Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	3
2.	EIGENE ARBEITEN ZUM THEMA	7
2.1.	Datenerfassung und Auswirkungen	7
2.2.	Datenmanagement und Datenanalyse	12
2.3.	Datennutzung für klinische Studien und maschinelles Lernen	16
3.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	29
4.	LITERATURVERZEICHNIS	31
5.	ANHANG	33

## 1. Einleitung

Der Begriff Big Data ist in letzter Zeit in aller Munde und man verspricht sich neue Erkenntnisse durch die Auswertung von großen Mengen an Daten, was zuvor an beschränkter Datenverfügbarkeit bzw. Rechenleistung scheiterte (Klein, Tran-Gia et al. 2013). Es werden zumeist auch unterschiedliche Quellen zur Analyse herangezogen. In den letzten Jahren wurden produzierende Firmen wie General Electric oder Siemens im Hinblick auf Marktkapitalisierung durch frühere Start-ups wie Google oder Facebook von den Spitzenpositionen verdrängt (Cole 2015). Deren Produkte basieren zum größten Teil auf Daten und es sind meist hochqualifizierte Beschäftigte für diese Unternehmen tätig. Die verarbeitende Industrie in aller Welt strebt deshalb sehr stark die Entwicklung der Industrie 4.0 an, bei der Fertigungsprozesse und -produkte durch die Analyse von Daten optimiert werden (Bauernhansl, Ten Hompel et al. 2014). In Deutschland wird dieser Wandel von der Bundesregierung unterstützt (BMW 2018).

Auch im Gesundheitswesen wurde der Wert von Datenanalysen erkannt und man erhofft sich v.a. in der Tumorthherapie neue Einblicke in bislang ungeklärte Pathomechanismen sowie neue personalisierte Therapien (Murdoch and Detsky 2013). Basis für alle Auswertungen sind große strukturierte Datensammlungen.

In der Augenheilkunde wurde 2016 in den Vereinigten Staaten von Amerika ein zentrales Register, das IRIS (intelligent research in sight) registry,

eingeführt (Parke II, Lum et al. 2016). Jede Nacht übertragen ca. 7.200 Augenarztpraxen und Kliniken alle Untersuchungsdaten des vorigen Tages in ein zentrales Register. Dies dient vor allem der Qualitätssicherung, aber es wurden auch erste Forschungsarbeiten auf Basis dieser Daten zu Netzhaut und Katarakt Themen veröffentlicht (Rao, Lum et al. , Atchison, Wood et al. 2018, Parke and Lum 2018, Rich, Chiang et al. 2018).

Nicht nur in den USA, sondern auch in Europa werden in der Augenheilkunde zentral Daten zu Qualitätszwecken erfasst. Bekanntestes Beispiel ist das EUREQUO Register, in welches freiwillig die Ergebnisse von Kataraktoperationen eingetragen werden können (Mats, Peter et al. 2014). Anhand dessen konnte gezeigt werden, dass durch eine intraoperative Antibiotikaeingabe in vielen Ländern eine deutliche Reduktion von desaströsen Augeninfektionen, die auch zur Erblindung führen, erreicht werden konnte (Lundstrom, Barry et al. 2012).

Nachdem Internetfirmen wie Google & Co. bereits viele Bereiche des täglichen Lebens nachhaltig beeinflusst und Gewohnheiten verändert haben, widmen sie sich nun dem Gesundheitswesen. Eines der Fächer, das im Mittelpunkt des Interesses steht, ist die Augenheilkunde mit einem Projekt in London, Großbritannien, in Zusammenarbeit mit der US-amerikanischen Forschungstochter Deepmind von Google (De Fauw, Keane et al. 2016). Obwohl die Ophthalmologie als „kleines“ Fach gilt, ist sie bei digitalen Gesundheitsthemen stark vertreten, da das Auge ein isoliertes Organ darstellt und man es als einzigen Teil des zentralen Nervensystems nicht-invasiv

optisch untersuchen kann. Dies ermöglicht vor allem die optische Kohärenztomografie (OCT), die in den letzten Jahren einen nicht wegzudenkenden Stellenwert in der Augenheilkunde eingenommen hat (Hee, Izatt et al. 1995). Man kann sowohl die Netzhaut als auch die Hornhaut zur Diagnostik und zur Therapieerfolgskontrolle mikrometergenau untersuchen und darstellen ((Puliafito, Hee et al.) und (Izatt, Hee et al. 1994)).

Aber nicht nur im Bereich der Bildgebung konnten in den vergangenen zwei Jahrzehnten Durchbrüche im Bereich der Augenheilkunde verzeichnet werden. Auch wurden neue medikamentöse Therapien eingeführt, die Behandlungen der neovaskulären altersbedingten Makuladegeneration (AMD) (Rosenfeld, Brown et al. 2006) oder des diabetischen Makulaödems (DMÖ) (Massin, Bandello et al. 2010) ermöglichten. Bei beiden Krankheitsbildern kann es zu einer massiven Reduktion der Sehschärfe kommen. Durch neuartigen Therapien werden diese nun behandel- und kontrollierbar. Die OCT stellt das wichtigste Verfahren zur objektiven Analyse des Therapieerfolgs dar (Keane, Patel et al. 2012).

Die Therapie dieser Netzhauterkrankungen ist eine kontinuierliche, oftmals lang andauernde Behandlung. Die Kontrolluntersuchungen erfolgen in der Regel alle vier bis acht Wochen. Bei jedem Patientenbesuch entstehen Daten in Höhe von ca. 300 Megabyte; im Rahmen der klinischen Untersuchung beispielsweise der Visus und auch Daten aus bildgebenden Geräten wie der oben genannten OCT.

Das Vorhaben dieser Habilitationsarbeit war es, die Daten aus der augenheilkundlichen universitären Routineversorgung digital zu erfassen, zu strukturieren und für die digitale Forschung verfügbar zu machen.

Für den ersten Schritt der digitalen Datenerfassung führte man eine vollständige digitale Datenerfassung in der Münchner Augenklinik ein, die von eigenen Mitarbeitern programmiert wurde. Sie wurde nach der Fertigstellung vom Hersteller „Cerner“ des zugrundeliegenden Krankenhausinformationssystems erworben und stellt heute die Standardlösung Augenheilkunde in diesem System dar. Im zweiten Schritt sollte ein zentraler Datenspeicher mit den klinischen Daten aus der Ambulanz sowie den Messdaten aus Untersuchungsgeräten aufgebaut werden. Mit einer internettechnologiebasierten Softwarelösung sind diese Daten innerhalb der Augenklinik für Ärzte ohne Datenbankkenntnisse abrufbar. Im dritten Schritt wurden diese Daten für die klinische Forschung und für moderne Anwendungen maschinellen Lernens genutzt.

## 2. Eigene Arbeiten zum Thema

### 2.1. Datenerfassung und Auswirkungen

Entwicklung eines augenärztlichen klinischen Informationssystems für bettenführende Augenkliniken – 2015 – *Ophthalmologe*

**Karsten U. Kortüm**, Michael Müller, Alexander Babenko, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer

Zwingend für eine effektive Auswertung ist, dass Daten digital und strukturiert erfasst werden. Dies macht Big Data Analysen erst möglich. Konkret bedeutet dies, dass die gesamte augenärztliche Untersuchungsdokumentation digital erfolgen muss. In ca. 80% der deutschen Augenkliniken werden aber nach einer Umfrage, die die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG) durchgeführt hat, Patientenkonsultationen noch immer auf Papier dokumentiert. So auch bis zum Jahr 2012 an der Universitätsaugenklinik in München. Wir haben zu diesem Zeitpunkt begonnen, eine elektronische Dokumentation auf Basis des krankenhausesweiten Krankenhausinformationssystems (KIS) i.s.h.med (Cerner GmbH, Frankfurt) zu entwickeln. Dieses ist in Deutschland in ca. der Hälfte aller Universitätskliniken als KIS installiert. In München erfolgte die Programmierung durch Mitarbeiter der Augenklinik und wurde durch Drittmittel finanziert. Im Jahr 2015 wurde die letzte Ambulanz digitalisiert. Seitdem ist der gesamte Dokumentations- und Planungsprozess (bis auf Checklisten und Patienteneinwilligungen) in Gänze digital organisiert. Auch die

Anforderungen von bildgebenden Untersuchungen wie der OCT erfolgen digital. Dies ist nicht nur aus Prozesssicht besser, sondern es werden auch die Diagnostikuntersuchungen mit der einheitlichen Patientennummer versehen. Dies macht die Zusammenführung von Daten aus den unterschiedlichen Quellen leichter. Die in i.s.h.med entwickelten Oberflächen wurden 2015 an den KIS-Hersteller Cerner verkauft. Diese Entwicklung stellt nun das offizielle Augenheilkundemodul des KIS i.s.h.med dar.

The screenshot displays the i.s.h.med patient information system interface. At the top, there are tabs for 'Patientendaten', 'DokDaten', and 'Diagnose'. The 'Patientendaten' tab is active, showing patient ID 10402424, age 73, and date of birth 11.03.2015. The 'DokDaten' tab shows the doctor's name 'Dr. med. Karsten Kortüm' and the date of the examination '11.03.2015'. The 'Diagnose' tab is also visible, showing a list of diagnoses.

The main form is divided into several sections:

- RA (vorderer Augenabschnitt):** Contains text input fields for 'Bindehaut reizfrei, Hornhaut spiegellnd. klar, glatt, Vorderkammer tief, optisch leer, Pupille rund, spielt, Iris strukturiert, Linse klar' and 'Fundus: Papille randscharf, vital in Niveau, Makula ohne pathologischen Befund, Netzhaut zirkulär anliegend und unauffällig'.
- LA (vorderer Augenabschnitt):** Contains text input fields for 'Bindehaut reizfrei, Hornhaut spiegellnd. klar, glatt, Vorderkammer tief, optisch leer, Pupille rund, spielt, Isocor, Hinterkammerlinse in loco' and 'Fundus: Papille randscharf, vital, Makula anliegend, Netzhaut mit Ablatio von 12 Uhr bis 4 Uhr, Foramen bei 3 Uhr, sonst anliegend'.
- Anmerkung (nicht im Brief):** A text input field for additional notes.
- Procedere (nicht im Brief):** A list of procedures including 'Receptio Allgemeinstation', 'Nüchtern', and 'PPV aorgen in ITN'.
- Diagnosen:** A table with columns for ICD, Katalogtext, Diagnose, Lokalisation, and Diagnose FA. It lists 'H33.0 Netzhautablösung mit Pseudophakieablatio' and 'Pseudophakieablatio'.
- Schlagnote:** A text input field for a summary note, containing '(14.03.2015) Netzhautablösung bei Aphakie, Pseudophakie, (sub-) totale Ablatio'.
- Freigabe und Aktendruck:** A button to release the record and print the medical history.
- Wiedervorstellung:** A text input field for the next appointment date.

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Eingabemaske innerhalb des i.s.h.med Krankenhausinformationssystems. In der dargestellten Maske werden Befunde seitengetrent für den vorderen und den hinteren Augenabschnitt eingetragen. Zudem wird hier das weitere Procedere für diesen Patientenbesuch eingetragen.



The influence of a specific ophthalmological electronic health record on ICD-10 coding – 2016 – *BMC Medical Informatics and Decision Making*

**Karsten Kortüm**, Christoph Hirneiß, Michael Müller, Alexander Babenko, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer

Im Rahmen der Einführung der digitalen Akte in der Augenklinik wurde die Diagnosencodierung im Rahmen des Dokumentationsprozesses verpflichtend. Auch bei der analogen Aufzeichnung musste pro Fall eine Diagnose gestellt werden, die dann von Verwaltungsfachkräften in das Abrechnungssystem eingetragen wurde. Im Rahmen dieser Studie sollte analysiert werden, ob sich eine Veränderung im Codierungsverhalten im Vergleich zur Papierakte zeigte. Die korrekte Codierung von Erkrankungen ist für Big-Data-Auswertungen extrem wichtig, da nur so ein abermaliges Auffinden von Daten möglich ist. Zudem kann ein sogenanntes machine learning nur dann erfolgen, wenn Patienten und deren Besuche richtig klassifiziert wurden. Wir konnten mit dieser Arbeit zeigen, dass die Einführung der elektronischen Dokumentation signifikant mehr und vielfältigere ICD-10 Diagnosen zur Folge hatte. So stieg die Anzahl der Diagnosen pro Fall von 1,15 (Notfallpatient) bzw. 1,1 (Terminpatient) auf 1,22 (Notfallpatient) bzw. 1,47 (Terminpatient). Die Anzahl der pro Woche zumindest einmal codierten ICD-10 Codes stieg von 156,2 auf 186,8 Diagnosen. In der nachfolgenden Abbildung sind außerdem die Veränderungen der unterschiedlichen anatomischen Abschnitte des Auges zu sehen:

Table 1: Number of diagnoses per anatomical ICD-10 category.

Anatomical ICD-10 category	Period 1	Period 2	Absolute change	Change (%)
H00 - H06	2,028	2,528	500	24.65
H10 - H13	1,816	2,275	459	25.28
H15 - H22	2,393	3,072	679	28.37
H25 - H28	1,068	1,617	549	51.40
H30 - H36	3,163	4,814	1,651	52.20
H40 - H42	837	1,084	247	29.51
H43 - H45	662	936	274	41.39
H46 - H48	289	390	101	34.95
H49 - H52	764	992	228	29.84
H53 - H54	224	314	90	40.18
H55 - H59	93	113	20	21.51
B30	380	493	113	29.74
T15.0	477	486	9	1.89
S05.0	623	366	-257	-41.25
S05.1	355	307	-48	-13.52
Z01.0	1,649	1,161	-488	-29.59
Z46.0	5	16	11	220.00
Z96.0	301	1,132	831	276.08
E14	1,240	1,199	-41	-4.4

Abbildung 2: Diese Tabelle aus der Publikation stellt die Veränderung der ICD-10 Diagnosen in den verschiedenen Betrachtungszeiträumen dar. Period 1 ist zu Zeiten der analogen Krankendokumentation, Period 2 ist nach Einführung einer elektronischen Dokumentation. In folgenden noch eine Aufschlüsselung der ICD-10 Codes.

H00-H06: Orbita und Lider H10-H13: Bindehautaffektionen; H15-H22: Affektionen der Sklera, Iris und des Ziliarkörpers; H25-H28: Linse; H30-H36: Affektionen der Netzhaut und Uvea; H40-H42: Glaukom; H43-H45: Glaskörper und Bulbusaffektionen; H46-H48: N. opticus; H49-H52: Augenmuskel, Refraktionsprobleme, Schielen; H53-H54: Seheinschränkung und Blindheit; H55-H59: Andere Affektionen des Auges; B30.0: Virale Konjunktivitis; T15.0: Hornhautfremdkörper; S05.0: Hornhautverletzung; S05.1: Contusio bulbi; Z01.0: Visusüberprüfung und Augenuntersuchung; Z46: Verordnung von Brillen und Kontaktlinsen; Z96.1: Vorhandensein einer Intraokularlinse; E14: Auswirkungen von Diabetes auf das Auge.

Evaluation von internetbasierten Softwareanwendungen zur Verwaltung und Organisation eines klinischen Studienzentrums in der Augenheilkunde  
– 2013 - *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

**Karsten Kortüm,** Lukas Reznicek, Simon Leicht, Michael Ulbig, Armin Wolf

Um das 2012 neu gegründete klinische Studienzentrum digital zu führen, evaluierten wir drei internetbasierte Softwarelösungen (Vibe on Prem, Sharepoint und Open Source Software). Es wurden hierfür verschiedene Bewertungskriterien herangezogen. Diese waren: Reliabilität, geringer Administrationsaufwand, einfache Bedienbarkeit, Terminplanung, Aufgabenliste, Wissensmanagement, geringe Betriebskosten sowie Zugriffsmöglichkeiten auch von außerhalb des Kliniknetzwerkes.

In unserer Studie erfüllte die Softwarelösung „Vibe on Prem“ die Kriterien am besten. „Vibe on Prem“ ermöglichte es, Termine zu koordinieren, Dokumente zu digitalisieren, Aufgaben zu verteilen und Zugriffsrechte detailliert zuzuteilen. Somit haben nur die für eine Studie autorisierten Personen Zugriff auf Protokolle dieser Studiendaten.

Durch die Einführung dieser internetbasierten Anwendung zur Verwaltung und Organisation eines klinischen Studienzentrums der Ophthalmologie konnten von da an klinische Prüfungen effizienter und verlässlicher durchgeführt werden. Es zeigte sich, dass durch die Einführung des Portals deutlich Arbeitszeit für die Mitarbeiter eingespart werden konnte. Zudem konnte ein schneller Zugriff auf alle relevanten Dokumente (z.B. Studienprotokolle, Formulare,

Studienpläne) ermöglicht werden. Insbesondere bei umfangreichen Studien ist dies vorteilhaft.

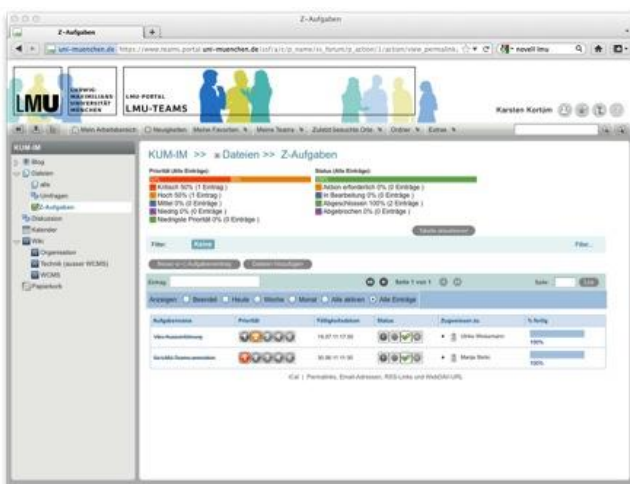


Abbildung 3: Beispielhafte Ansicht der Aufgabenverteilung innerhalb der Anwendung

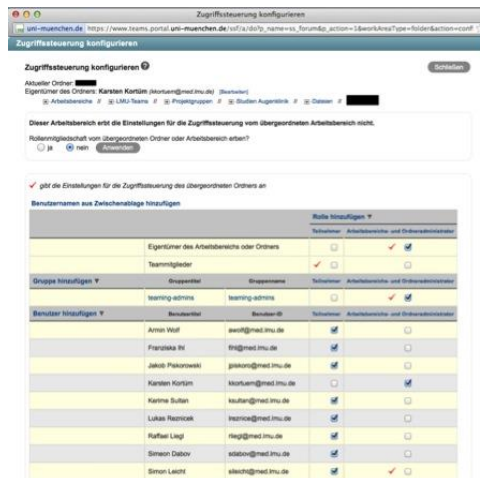


Abbildung 4: Zuweisung von Zugriffsrechten an verschiedene Benutzer.

## 2.2. Datenmanagement und Datenanalyse

Rahmenbedingungen zur Sammlung von „Real-Life“-Daten am Beispiel der Augenklinik der Universität München – 2017 – *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

**Karsten Kortüm**, Christoph Kern, Gerhard Meyer, Siegfried Priglinger, Christoph Hirneiß

Da die Nutzung medizinischer Daten hohen datenschutzrechtlichen Anforderungen unterliegt, haben wir die rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen analysiert. In München erfolgte im Rahmen des gesamten bisherigen Projektverlaufs eine ideale Zusammenarbeit zwischen dem lokalen Datenschutzbeauftragten und der Augenklinik. Im Rahmen der massenhaften Datenauswertung von Patienten aus dem Klinikalltag wollten wir sicherstellen, dass alle Regeln bezüglich des Datenschutzes eingehalten

werden, um mögliche negative Auswirkungen auf das Projekt zu verhindern. In dieser gemeinsamen Arbeit mit dem lokalen Datenschutzbeauftragten erarbeiteten wir ein Beispielmmodell für die massenhafte Erhebung von Routinedaten. Unser „Big Data in der Augenheilkunde“-Forschungsprojekt wurde von unserem lokalen behördlichen Datenschutzbeauftragten Gerhard Meyer freigegeben.

Using Electronic Health Records to Build an Ophthalmologic Data Warehouse and Visualize Patients' Data – 2017 – *American Journal of Ophthalmology*

**Karsten U. Kortüm**, Michael Müller, Christoph Kern, Alexander Babenko, Wolfgang J. Mayer, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer, Siegfried Priglinger, Christoph Hirneiss

„Smart eye data“: Entwicklung eines Fundaments für medizinische Forschung mittels Smart-Data-Applikationen – 2016, Covertitel – *Ophthalmologe*

**Karsten Kortüm**, Michael Müller, Christoph Hirneiß, Alexander Babenko, Daniel Nasseh, Christoph Kern, Anselm Kampik, Siegfried Priglinger, Thomas C. Kreutzer

Um die Einträge der elektronischen Patientenakten und die Messdaten aus den bildgebenden Systemen nutzbar zu machen, bauten wir ein klinisches Data Warehouse auf. Dieses wird jede Nacht mit den Daten aus der elektronischen Aufzeichnung des Vortages automatisch aktualisiert. Aktuell enthält es die Daten von ca. 360.000 Patienten. Die Diagnosen und Prozeduren konnten

bereits von Anfang der 2000er Jahre übernommen werden. Sukzessive wurden verschiedene Gerätemessdaten diesem Data Warehouse hinzugefügt. Zuerst wurden nur Messdaten aus der OCT eingepflegt. In der späteren Arbeit wurden auch die Daten aus Geräten zur Untersuchung der Hornhautoberfläche (Pentacam) sowie die Daten der Messwerte vor Kataraktoperationen hinzugefügt. Dies wurde durch die Einführung eines „order-and-entry“ Systems (Forum, Carl Zeiss Meditec, Jena) zur Bestellung von Untersuchungen möglich. Es wird dabei der international einheitliche DICOM-Standard benutzt. Auf die Untersuchungsgeräte werden dabei die eindeutigen und einmaligen Patientennummern übertragen. Dadurch ist später im Data Warehouse eine Verknüpfung der Daten möglich. Zudem wurde durch die Einführung dieses Systems unser Augendiagnostikzentrum deutlich effizienter, da bei den meisten Geräten keine manuelle Dateneingabe mehr notwendig ist.

Um auch als Anwender ohne Datenbankkenntnisse auf die Daten zugreifen zu können, entwickelten wir eine Suchmaske auf Basis der Software Qlikview (Qlik Inc., Boston, USA), die in Sekundenschnelle Patienten identifizieren kann, die die gewünschten Merkmale aufweisen. Es können vielzählige Kombinationen von Suchparametern benutzt werden - Von Prozeduren, Diagnosen oder bildgebenden Leistungen über Volltextsuchen im Behandlungsprozedere bis hin zur Auswahl von Medikationen und der Anzahl intravitrealer Medikamenteneingaben. Auch der Krankheitsverlauf einzelner Patienten kann dargestellt werden. Dieses System steht den Ärzten der Augenklinik jederzeit über einen Webbrowser innerhalb des Kliniknetzes zur

Verfügung. Durch den Einsatz dieses Tools konnten wir mehr Patienten die Teilnahme an klinischen Studien ermöglichen, da sie leichter zu identifizieren waren.

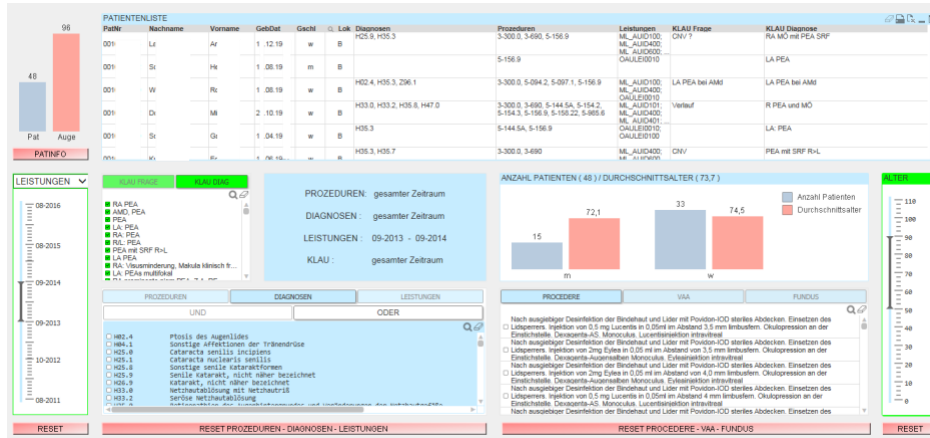


Abbildung 5:

Diese Ansicht stellt die Suchmaske für Patienten dar. Es kann nach Datum, Diagnosen, Prozeduren, Alter, Geschlecht gefiltert werden. Zudem besteht auch die Möglichkeit einer Volltextsuche im Prozedere.

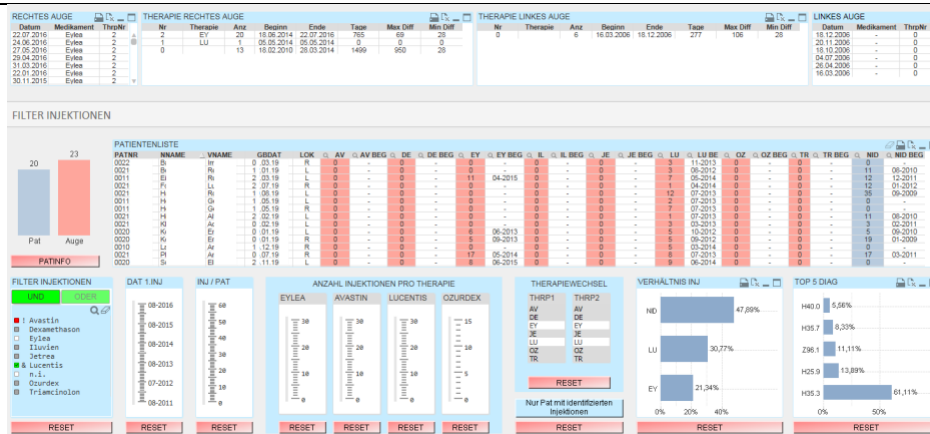


Abbildung 6:

An dieser Stelle kann nach intravitrealen Therapien gefiltert werden. Es können verschiedene Filter bei den Medikamenten sowie Anzahl von Injektionen gesetzt werden. Auch können Therapiewechsel berücksichtigt werden.



Abbildung 7:

Patientenübersicht in Qlikview. Es werden alle Prozeduren, OPs und Leistungen aufgelistet. In den beiden Graphen werden Visus, Augendruck sowie zentrale Netzhautdicke zusammen mit Injektionen geplottet.



### 2.3. Datennutzung für klinische Studien und maschinelles Lernen

Inzidenz von Zentralvenen- und Venenastverschlüssen während der Fußballweltmeisterschaft 2014: Eine Datenbankanalyse – 2016 –  
*Ophthalmologe*

Felice Lob, **Karsten Kortüm**, Michael Müller, Josef März, Simon Leicht, Kristina Prause, Siegfried Priglinger, Thomas Kreutzer

Die Assoziation kardiovaskulärer Ereignisse, wie zum Beispiel dem akuten Koronarsyndrom, mit emotionalen Triggern ist bekannt. Hierzu zählen Großereignisse wie Fußballweltmeisterschaften (WM). Je nach Ursprungsland und Studie konnten teils signifikante Unterschiede in Hinblick auf kardiovaskuläre Ereignisse festgestellt werden. Bekannt ist auf ophthalmologischer Seite die Korrelation kardiovaskulärer Vorerkrankungen mit retinalen Gefäßerkrankungen. In dieser Studie untersuchten wir die Inzidenz von retinalen Venenverschlüssen (sowohl Zentralvenen- als auch Venenastverschluss) in unserer Klinik während der für Deutschland erfolgreichen, spannenden und langen Fußball-WM 2014 in Brasilien. Als Vergleich wurde der Vorjahreszeitraum gewählt. Es zeigte sich zwischen beiden Zeiträumen ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Verschlüsse (9 im Vorjahr und 26 Verschlüsse während der WM. Es wurde jeweils ein 2 Wochen längerer Nachbeobachtungszeitraum gewählt, um Patienten einschließen zu können, die erst später in die Klinik kamen.

Wir importierten Wetterdaten der Wetterstation München des Deutschen Wetterdienstes um meteorologische Unterschiede auszuschließen. Es ist



bekannt, dass auch Exsikkose zu einem vermehrten Auftreten dieses Krankheitsbildes führen kann. Im Hinblick auf die jeweiligen Wetterverhältnisse lag aber kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Betrachtungszeiträumen vor.

<b>Tab. 1</b> Daten zur Inzidenz venöser Verschlüsse während der Weltmeisterschaft bzw. im Vergleichszeitraum			
	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>p</b>
VAV	8	6	0,808
ZVV	9	15	*0,042
Hemi-ZVV	1	5	*0,0037
Gesamtzahl	18	26	*0,04
Alter	♂ Ø 68 J., ♀ Ø 62 J.	♂ Ø 67 J., ♀ Ø 76 J.	
Weiblich	8	15	
Visus	0,05–0,9; Ø 0,39	0,05–1,0; Ø 0,63	
IOD	12–25; Ø 16 mmHg; SD 4,39	8–24; Ø 15 mmHg; SD 4,17	
VAV Venenastverschluss, ZVV Zentralvenenastverschluss, IOD Augeninnendruck, Ø Durchschnitt, *p signifikant			

Abbildung 8: Anzahl der venösen Verschlüsse am Auge im Beobachtungszeitraum. Zudem wichtige allgemeine Daten für die Patienten. Abbildung aus der Originalpublikation.

Correlation between weather and incidence of selected ophthalmological diagnoses: A database analysis – 2016 – *Clinical Ophthalmology*

Christoph Kern, **Karsten Kortüm**, Michael Müller, Florian Raabe, Wolfgang J. Mayer, Siegfried Priglinger, Thomas Christian Kreutzer

Die in die Datenbank eingespeisten Wetterdaten nutzten wir für ein weiteres Projekt. Vielfach besteht bei medizinischem Personal die Überzeugung, dass man bei bestimmten Wetterverhältnissen mehr oder weniger Patienten zu versorgen habe. Auch seien einzelne Erkrankungen mit dem Wetter assoziiert. Für diese Studie standen die täglichen Sonnenscheinstunden, Durchschnittstemperaturen sowie die Windgeschwindigkeit zur Verfügung. Wir

korrelierten diese Werte mit der täglichen Gesamtzahl an Patienten in unserer Notaufnahme bezüglich Konjunktivitiden, Iridozyklitiden, Hornhautfremdkörper als auch Hornhautverletzungen. Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen einem höheren Patientenaufkommen und mehr Sonnenscheinstunden sowie höheren Durchschnittstemperaturen. Direkt hiermit zusammenhängen dürfte sehr wahrscheinlich die steigende Anzahl von Hornhautfremdkörpern bei warmem Wetter und vielen Sonnenscheinstunden. Eine positive Korrelation für Bindehautentzündungen jeglicher Art konnte ebenfalls gezeigt werden.

**Table 3** Spearman's correlation between the weekly overall patient volume and the average weekly weather data

Patient volume	Correlation coefficient ( $\rho$ )	P-value
Sunshine duration	0.44	$\leq 0.01$
Temperature	0.29	$\leq 0.01$
Wind speed	-0.17	0.118

**Table 4** Spearman's correlation between the weekly incidence of conjunctivitis and the average weekly weather data

Conjunctivitis (H10.x) <sup>#</sup>	Correlation coefficient ( $\rho$ )	P-value
Sunshine duration	0.46	$\leq 0.01$
Temperature	0.27	0.012
Wind speed	-0.17	0.125

**Note:** <sup>#</sup>ICD-10 code.

**Abbreviation:** ICD-10, International Classification of Diseases, Tenth Edition.

**Table 5** Spearman's correlation between the weekly incidence of foreign body in cornea and the average weekly weather data

Foreign body in cornea (T15.0) <sup>#</sup>	Correlation coefficient ( $\rho$ )	P-value
Sunshine duration	0.31	$\leq 0.01$
Temperature	0.56	$\leq 0.01$
Wind speed	-0.17	0.133

**Note:** <sup>#</sup>ICD-10 code.

**Abbreviation:** ICD-10, International Classification of Diseases, Tenth Edition.

**Table 6** Spearman's correlation between the weekly incidence of iridocyclitis and the average weekly weather data

Iridocyclitis (H20.x) <sup>#</sup>	Correlation coefficient ( $\rho$ )	P-value
Sunshine duration	0.00	0.988
Temperature	-0.09	0.430
Wind speed	-0.18	0.101

**Note:** <sup>#</sup>ICD-10 code.

**Abbreviation:** ICD-10, International Classification of Diseases, Tenth Edition.

**Table 7** Spearman's correlation between the weekly incidence of corneal abrasion and the average weekly weather data

Corneal abrasion (S05.0) <sup>#</sup>	Correlation coefficient ( $\rho$ )	P-value
Sunshine duration	0.01	0.931
Temperature	0.03	0.759
Wind speed	0.01	0.912

**Note:** <sup>#</sup>ICD-10 code.

**Abbreviation:** ICD-10, International Classification of Diseases, Tenth Edition.

Abbildung 9: Korrelation der verschiedenen Diagnosen sowie Patientenzahlen mit der täglichen Anzahl an Sonnenscheinstunden, Durchschnittstemperatur und Windgeschwindigkeit (Tabellen aus Originalpublikation)

Differences in corneal clinical findings after standard and accelerated cross-linking in patients with progressive keratoconus – 2017 – *BMC*

*Ophthalmology*

**Karsten Kortuem**, Efstathios Vounotrypidis, Alexandros Athanasiou, Michael Müller, Alexander Babenko, Christoph Kern, Siegfried Priglinger, Wolfgang J. Mayer

Seit Anfang dieses Jahrhunderts ist eine hornhauterhaltende Therapie des Keratokonus möglich, mit der die verursachende Hornhautaussackung gestoppt werden kann. Zuvor konnte nur chirurgisch eine Heilung durch Hornhauttransplantation erreicht werden. Bei dieser neueren Therapie handelt es sich um das so genannte Hornhaut Cross-Linking (CXL). Hier wird die Hornhaut mit Riboflavin-Augentropfen vorbehandelt und danach mit UV-Licht bestrahlt. Dadurch härtet die Hornhaut aus und es kommt zur Stabilisierung der Hornhautveränderungen. Die Sehschärfe kann durch die Therapie wieder ansteigen und die meist jungen erkrankten Erwachsenen erhalten ein gutes Sehvermögen. Im Rahmen dieser Studie haben wir zwei CXL Therapieprotokolle (Standard-Dresden-Protokoll sowie beschleunigtes Protokoll) auf klinische Hornhautveränderungen (z.B. Striae, Trübungen) verglichen und konnten nachweisen, dass das neuere, kürzere Protokoll vergleichbare Ergebnisse liefert. Teilweise konnten weniger pathologische Veränderungen der Hornhaut identifiziert werden, die aber länger persistierten. Der Patient profitiert von einer kürzeren Behandlungszeit bei gleich guten Ergebnissen.

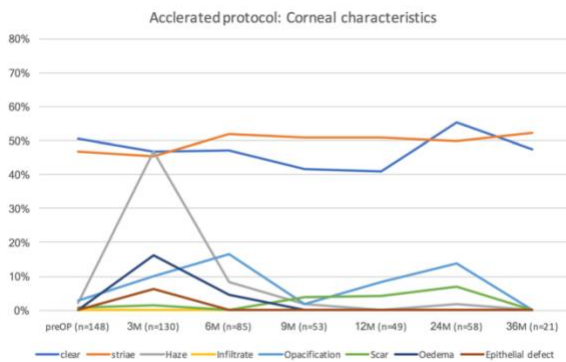


Abbildung 10: Ausgewählte Hornhautbefunde im zeitlichen Verlauf beim beschleunigten Behandlungsprotokoll.

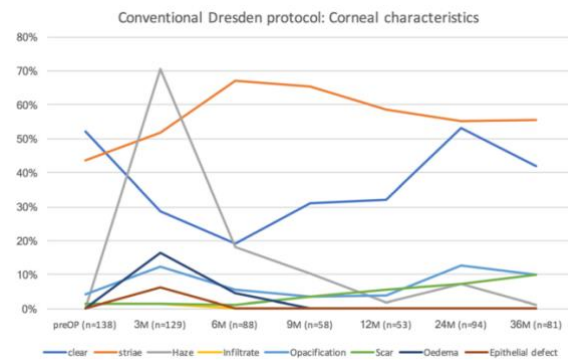


Abbildung 11: Ausgewählte Hornhautbefunde im zeitlichen Verlauf beim Standard Dresdenprotokoll.

Long-term database analysis of conventional and accelerated crosslinked keratoconic mid-European eyes – 2018 – *Greafe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*

Efstathios Vounotrypidis, Alexis Athanasiou, **Karsten Kortüm**, Daniel Kook, Mehdi Shajari, Siegfried Priglinger, Wolfgang J. Mayer

Auf demselben Studienkollektiv der Keratokonuspatienten haben wir eine weitere Auswertung zum Vergleich zwischen beschleunigtem und Standard-Behandlungsprotokoll durchgeführt. In dieser Studie wurde jedoch nicht der klinische Befund verglichen, sondern es wurden die Hornhautmessparameter (z.B. maximaler, minimaler Keratometriemesswert sowie Hornhautdicke) in der Keratographie und der Visus zwischen beiden Gruppen analysiert. Insgesamt wurden 413 von 316 Patienten eingeschlossen. Es zeigte sich, dass das schnelle Behandlungsverfahren zu vergleichbaren Ergebnissen führte. Bei der unkorrigierten Fernsehschärfe war das beschleunigte Verfahren besser.

**Table 2** Baseline and postoperative (36 months) data of patients with mild and moderate keratoconus regarding their treatment regime

Course data of subgroup analysis subgroup A (conventional CXL) and subgroup B (accelerated CXL)

Parameter	Preoperative			36 months			<i>p</i> value (within each group)	
	Subgroup A	Subgroup B	<i>p</i> value (SA ≠ SB)	Subgroup A	Subgroup B	<i>p</i> value (SA ≠ SB)	Subgroup A	Subgroup B
Kmax (D)	55.01	55.31	0.902	54.47	54.66	< 0.001*	< 0.001*	0.001*
Kmf (D)	47.06	47.53	0.478	47.01	47.28	0.022*	0.589	0.173
Kmb (D)	- 6.93	- 6.98	0.485	- 7.00	- 6.99	0.116	0.005*	0.02*
Pachm (µm)	453.67	458.78	0.135	447.31	452.03	0.012*	< 0.001*	< 0.001*
ISV	89.54	89.50	0.692	85.70	86.13	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
IHA	26.10	26.77	0.872	29.20	26.91	0.254	< 0.001*	0.313
IVA	1.01	1.01	0.488	0.95	0.96	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
IHD	0.10	0.11	0.391	0.12	0.12	0.211	< 0.001*	0.001*
KI	1.24	1.24	0.882	1.23	1.23	0.003*	< 0.001*	0.001*
CDVA (LogMAR)	0.31	0.34	0.606	0.28	0.29	0.85	0.589	0.113
UDVA (LogMAR)	0.59	0.65	0.431	0.53	0.57	0.563	0.078	0.034*

Subgroup A: patients with mild to moderate keratoconus that underwent conventional CXL

Subgroup B: patients with mild to moderate keratoconus that underwent accelerated CXL

*Kmax* maximum keratometry of anterior corneal surface, *Kmf* mean keratometry of anterior corneal surface, *Kmb* mean keratometry of posterior corneal surface, *Pachm* thinnest corneal thickness (TCT), *ISV* index of surface variety, *IHA* index of height asymmetry, *IVA* index of vertical asymmetry, *IHD* index of height deviation, *KI* keratoconus index, *CDVA* corrected distance visual acuity, *UDVA* uncorrected distance visual acuity

\**p* value < 0.05

Abbildung 12: Vergleich der Messwerte zwischen beiden Patientengruppen vor und 36 Monate nach Therapie. Signifikante Unterschiede sind mit \* markiert. (Tabelle aus der Originalarbeit)

Incidence of secondary glaucoma after treatment of uveal melanoma with robotic radiosurgery versus brachytherapy – 2017 – *Acta Ophthalmologica*  
 Jakob Siedlecki, Veronika Reiterer, Simon Leicht, Paul Foerster, **Karsten Kortüm**, Ulrich Schaller, Siegfried Priglinger, Christoph Fuerweger, Alexander Muacevic, Kirsten Eibl-Lidner

Im Rahmen dieser Arbeit haben wir die Inzidenz von Sekundärglaukomen bei Patienten, die wegen eines Aderhautmelanoms behandelt wurden, analysiert. Es wurde die Inzidenz bei zwei verschiedenen Melanom-Behandlungsverfahren verglichen. Das erste Verfahren ist die klassische Therapie mit Aufnähen einer Rutheniumplombe. Beim zweiten Verfahren handelt es sich um die so genannte Radiosurgery mit dem Cyberknife. Das Sekundärglaukom stellt eine Komplikation dar, die oftmals klinisch schlecht kontrollierbar ist und zu einer

Enukleation führen kann. Wir fanden heraus, dass bei Tumoren, die bei Erstdiagnose 6 Millimeter oder kleiner waren, das Auftreten eines Sekundärglaukoms in beiden Gruppen gleich war. Je größer das Aderhautmelanom ist, desto mehr steigt das Risiko für die Entstehung eines Sekundärglaukoms.

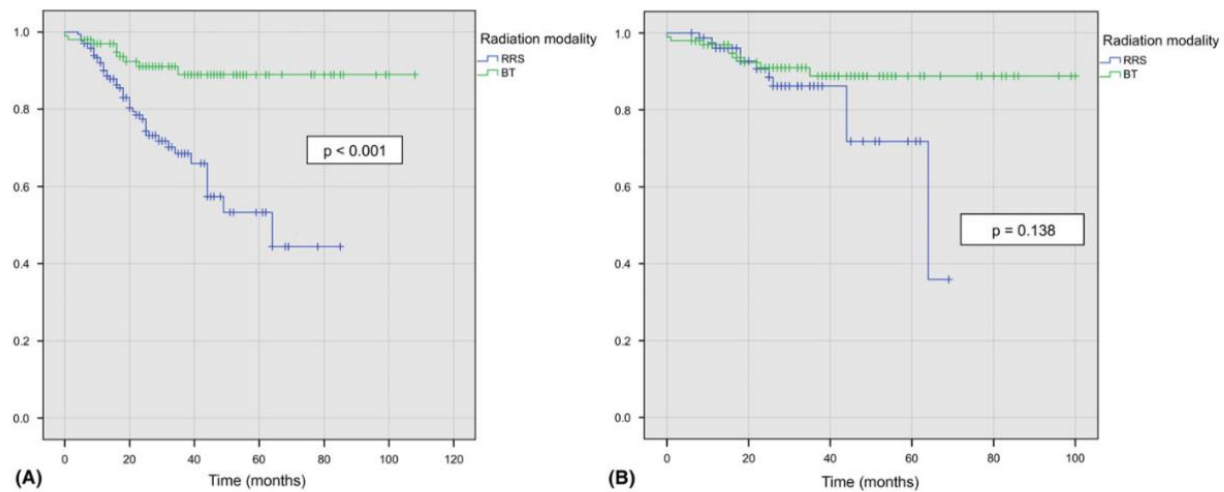


Fig. 1. Kaplan-Meier comparison of incidence of secondary glaucoma after robotic radiosurgery versus brachytherapy in (A) all patients and (B) patients with a tumor prominence  $\leq 6$  mm.

Abbildung 13: Kaplan-Meier Kurven für die Entstehung eines Sekundärglaukoms. Bei (A) für Tumoren aller Größe und (B) für Tumoren, die 6mm oder kleiner waren.

Compliance and adherence of patients with diabetic macular edema to intravitreal anti-vascular endothelial growth factor therapy in daily practice

– 2017 – *Retina*

Maximilian Weiß; Dawn Sim; Tina Herold; Ricarda G. Schumann; Raffael Liegl; Christoph Kern; Thomas Kreutzer; Johannes Schiefelbein; Miriam Rottmann; Siegfried Priglinger; **Karsten Ulrich Kortüm**

Erfreulicherweise stehen seit circa 10 Jahren Anti-VEGF Medikamente (z.B. Aflibercept (Eylea®) oder Ranibizumab (Lucentis®)) zur Therapie der neovaskulären altersbedingten Makuladegeneration (AMD) als auch des

diabetischen Makulaödems (DMÖ) zur Verfügung. Beide Krankheitsbilder haben eine unterschiedliche Genese, aber die Therapie sowie Kontrollintervalle sind sehr ähnlich. Auf Basis unseres Data Warehouses verglichen wir im Rahmen dieser Studie deshalb, wie sich die Compliance und Adhärenz bei dieser intravitrealen Medikamentengabe unterscheiden und ob diese Auswirkungen auf das Sehvermögen haben.

Im Rahmen unserer Auswertung zeigte sich, dass Patienten mit DMÖ signifikant mehr Fehltermine hatten als AMD-Patienten. 22% der AMD Patienten kamen mindestens einmal zu spät, wohingegen 46% der DMÖ Patienten sich mindestens einmal verspäteten. Auch hatten mehr Diabetespatienten eine Therapieunterbrechung, die wir als Abweichung von mehr als 100 Tagen vom geplanten Termin definierten. Wir konnten zeigen, dass die Sehschärfe mit jedem Therapieabbruch negativ beeinflusst wurde. Die Studie hat die Bedeutung aufgezeigt, Patienten mit DMÖ engmaschig an die Injektionssprechstunde anzubinden.

Change in ETDRS letters by number of therapy break-offs in DME patients

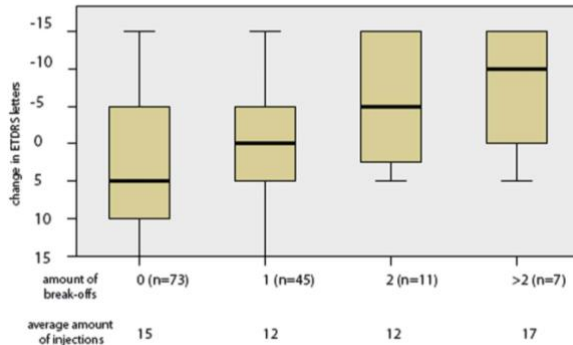


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Therapieabbrüchen und Visusveränderung bei DMÖ Patienten.

Change in ETDRS letters by number of therapy break-offs in AMD patients

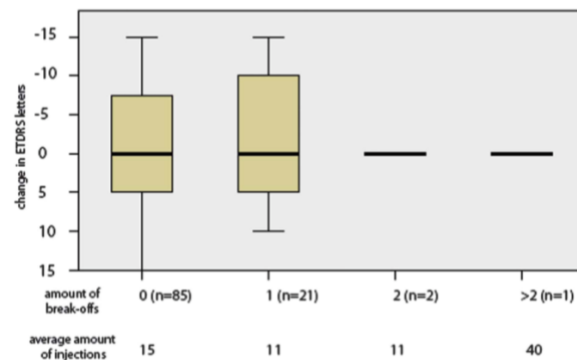


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Therapieabbrüchen und Visusveränderung bei AMD Patienten.

Predicting visual acuity by using machine learning in patients treated for neovascular age-related macular degeneration – 2018 – *Ophthalmology*

Markus Rohm, Volker Tresp, Michael Müller, Christoph Kern, Ilja Manakov, Maximilian Weiß, Dawn A. Sim, Siegfried Priglinger, Pearse A. Keane,

**Karsten Kortuem**

Die Daten des Data Warehouses (klinische Behandlungsdaten sowie die Messwerte aus der OCT) wurden im Rahmen dieser Studie genutzt, um Vorhersagen über die Entwicklung des Visus nach intravitrealer Medikamentengabe bei altersbedingter Makuladegeneration zu treffen. Der Visus stellt aufgrund seiner Bedeutung für die Patienten in den meisten klinischen augenheilkundlichen Studien den primären Endpunkt dar. Es wurden für diese Untersuchung sechs verschiedene Algorithmen maschinellen Lernens getestet. Diese sollten drei bzw. sechs Monate nach einer dreimonatigen Aufsättigungsphase mit intravitrealen Medikamenten



(Aflibercept sowie Ranibizumab) bei neovaskulärer altersbedingter Makuladegeneration die dann erreichte Sehschärfe vorhersagen. Die Prognose wurde mittels Patienten validiert, denen die Algorithmen beim Training unbekannt waren.

Als bester Algorithmus schnitt „Lasso“ ab, welcher ein lineares Modell darstellt. Die Sehschärfe konnte auf drei Monate mit einer Genauigkeit von 5,5 Buchstaben vorhergesagt werden. Für einen Vorhersagehorizont von 12 Monaten lag die Genauigkeit der Vorhersage bei neun Buchstaben. Eine Zeile auf einer Sehschärfenmesstafel entspricht fünf Buchstaben. In klinischen Studien konnte ermittelt werden, dass die Sehschärfenmessung bei demselben Patienten am selben Tag um fünf Buchstaben variieren kann. Damit ist eine Vorhersage um 5,5 Buchstaben recht präzise. Die Entwicklung dieses Algorithmus zur Visusvorhersage ist ein erster Schritt hin zu einer personalisierten Therapie dieser degenerativen Alterserkrankung.

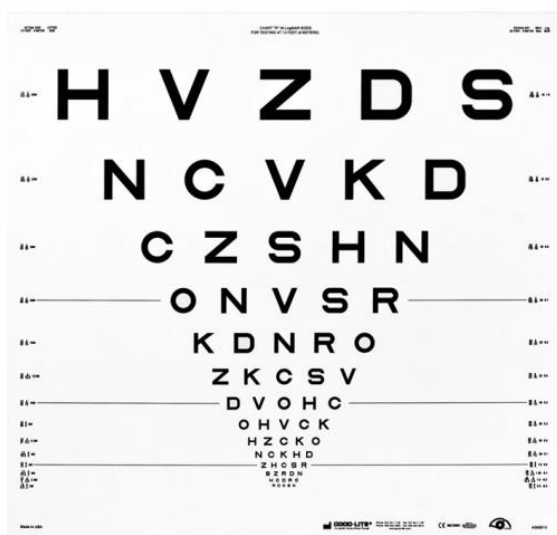


Abbildung 16: Tafel zur Sehschärfenmessung. Pro Zeile werden fünf Buchstaben aufgeführt.

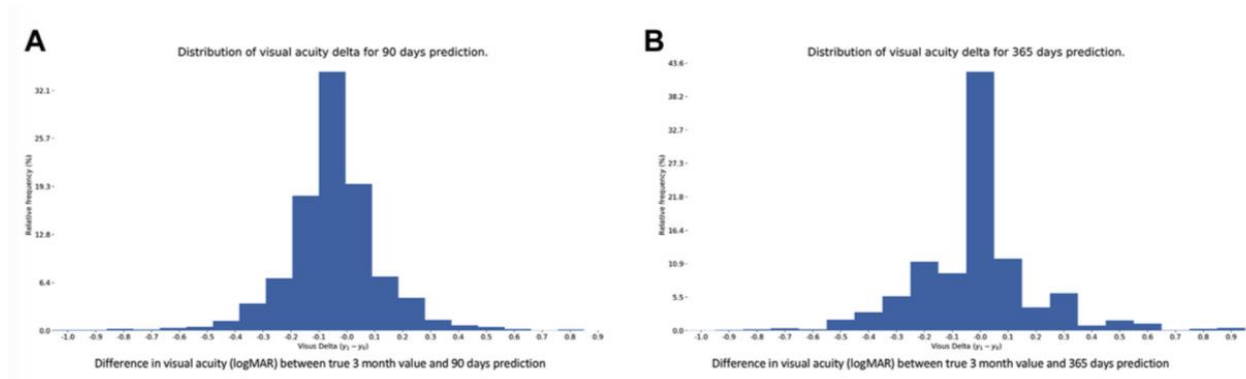


Abbildung 17: Genauigkeit der Sehschärfenvorhersage (in logMAR) für einen Zeitraum von 3 Monaten (A) und 12 Monaten (B).

Implementation of virtual clinics for medical retina patients in a tertiary eye care referral centre – 2018 – *British Journal of Ophthalmology*

**Karsten Kortuem**, Katrin Fasler, Amanda Charnley, Hussain Khambati, Sandro Fasolo, Menachem Katz, Konstantinos Balaskas, Ranjan Rajendram, Robin Hamilton, Pearse A. Keane, Dawn A. Sim

In dieser Arbeit wurden virtuelle Sprechstunden für Patienten mit Netzhauterkrankungen, vor allem diabetischen Veränderungen am Auge, analysiert. Bei dieser Form der Sprechstunde wird die Sehschärfe des Patienten erhoben, eine OCT-Untersuchung durchgeführt und auch ein Fundusfoto angefertigt. Diese Daten werden dann zum Teil in einer zentralen Befundsstelle zu einem späteren Zeitpunkt von einem Augenarzt ausgewertet. Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob diese Form der Untersuchung sicher ist und sie keine negativen Auswirkungen auf das Augenlicht von Patienten hat.

Es wurden Besuche von insgesamt 1729 Patienten betrachtet. Bei einem Drittel der Patienten musste eine Vorstellung in einer „echten“ Sprechstunde erfolgen. Gründe hierfür waren meist eine schlechte Bildqualität, eine Katarakt oder auch der Patientenwunsch. Nur bei 66 Patienten handelte es sich um eine Notfallvorstellung. Insgesamt zeigte sich, dass mit weniger Ressourcen mehr Patienten untersucht werden konnten. Insbesondere bei einer zunehmenden Zahl von Diabetikern stellt dies eine Möglichkeit dar, mit limitierten Ressourcen mehr Patienten zu untersuchen.

DR grade	Referrals to face to face	Urgent (detection of treatable disease)	Image quality	Not suitable for virtual	Regular (eg, cataract)	Booking error	Patient request	Glaucoma suspect
R0M0	31	1 (3.0%)	19 (57.6%)	3 (9.1%)	8 (24.2%)			
R1M0	70	2 (2.8%)	45 (63.4%)	8 (11.3%)	12 (16.9%)	1 (1.4%)	1 (1.4%)	1 (1.4%)
R1M1	66	19 (28.4%)	12 (17.9%)	11 (16.4%)	22 (32.8%)	1 (1.5%)	1 (1.5%)	
R2M0	14	1 (7.1%)	4 (28.6%)	4 (28.6%)	5 (35.7%)			
R2M1	36	14 (37.8%)	6 (16.2%)	9 (24.3%)	6 (16.2%)	1 (2.7%)		
R3M0	33	1 (3.0%)	11 (33.3%)	13 (39.4%)	6 (18.2%)	1 (3.0%)	1 (3.0%)	
R3M1	34	3 (8.8%)	14 (41.2%)	9 (26.5%)	7 (20.6%)		1 (2.9%)	
AMD	22	11 (50%)		5 (22.7%)	5 (22.7%)	1 (4.5%)		
RVO	17	13 (72.2%)	1 (5.6%)	2 (11.2%)	1 (5.6%)			
CSR	3	1 (33.3%)		2 (66.7%)				
Total	326	66 (20.2%)	112 (34.7%)	66 (20.2%)	72 (22.1%)	5 (1.5%)	4 (1.2%)	1 (0.3%)

AMD, age-related macular degeneration; CSR, central serous retinopathy; DR, diabetic retinopathy; RVO, retinal vein occlusion.

Abbildung 18: Tabelle aus der Originalpublikation mit den Gründen für eine Überweisung in eine normale Sprechstunde.

### 3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Augenklinik „Moorfields“ in London im Vereinigten Königreich arbeitet seit 2016 zusammen mit einer Tochterfirma (Deepmind) von Google daran, eine Software zu entwickeln, die OCT-Untersuchungen des Auges analysiert. Es wird zum einen eine Diagnose gestellt, zum anderen wird eine Empfehlung ausgesprochen, ob der untersuchte Patient notfallmäßig, routinemäßig oder nicht vom Augenarzt untersucht werden muss. Ein mögliches Einsatzszenario stellt der Einsatz bei Nicht-Augenärzten dar (z.B. Optiker). Auch andere Forschungsgruppen arbeiten weltweit, teilweise auch mit Unterstützung von IT-Firmen, an neuen Anwendungen für den klinischen Einsatz. Allen Ansätzen gemein ist, dass sie auf Daten aus der klinischen Versorgung basieren.

Im Rahmen dieser kumulativen Habilitationsschrift entstand eine umfangreiche Datensammlung von Routinedaten aus der Augenklinik der Universität München, die die Basis für derartige neue Ansätze der Krankheitserkennung und Therapieempfehlung bilden kann. Wir führten zum einen eine umfangreiche, nachhaltige, digitale Datenerfassung im klinischen Alltag der Augenklinik der Universität München ein. Diese umfasst neben den klinischen Daten wie dem Visus die Bilddaten. Zum anderen wurde eine nachhaltige Infrastruktur aufgebaut, die die Daten täglich in einem Data Warehouse abspeichert. Auf dessen Basis konnten retrospektive Auswertungen in verschiedenen Bereichen der Ophthalmologie durchgeführt werden. Bei vielen dieser Arbeiten standen Daten aus unterschiedlichen

Quellen zur Verfügung. Auch wurden administrative Daten wie Prozeduren, Termine oder Diagnosecodes genutzt. Es zeigte sich, dass seit Einführung einer digitalen Dokumentation die Datenqualität verbessert werden konnte. Das Data Warehouse wurde auch zur Testung verschiedener machine-learning-Algorithmen genutzt. Dies stellt einen Schritt in Richtung Zukunft dar – hin zur computerunterstützten Medizin. Es besteht Hoffnung, dass durch den Einsatz von selbstlernenden Systemen eine Optimierung der medizinischen Versorgung ermöglicht werden kann. Zu erwarten ist auch, dass hierdurch nur jene Patienten einen Arzt sehen, die ihn aus medizinischen Gründen wirklich benötigen. Gerade aufgrund des prognostizierten Mangels an Ärzten ist dies relevant, um auch in Zukunft die geburtenstarken Jahrgänge der 1960er und 1970er Jahre adäquat versorgen zu können. Zudem kann durch den Einsatz dieser neuen Algorithmen im Rahmen von Telemedizin „Expertenwissen“ in ländliche Gegenden oder in andere Länder mit limitierter ärztlicher Versorgung transportiert werden. Wichtig ist jedoch, dass der Datenschutz eingehalten und die Privatsphäre des Patienten respektiert wird. Die Skandale der vergangenen Jahre über missbräuchliche Datennutzung zeigen, dass diese Sorge nicht unbegründet ist.

Es ist nicht davon auszugehen, dass Ärzte eines Tages ihre Daseinsberechtigung verlieren, denn ein entscheidender Vorteil des Menschen ist die Möglichkeit zur persönlichen Kommunikation. Die persönliche Kommunikation kann auch in naher Zukunft nicht durch Computer ersetzt werden.

#### 4. Literaturverzeichnis

Atchison, E. A., et al. (2018). "The Real-World Effect of Intravitreal Anti-Vascular Endothelial Growth Factor Drugs on Intraocular Pressure: An Analysis Using the IRIS Registry." Ophthalmology **125**(5): 676-682.

Bauernhansl, T., et al. (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration, Springer.

BMW, B. f. W. u. E. (2018). "Industrie 4.0." Retrieved 24/3/2018, 2018, from <http://www.bmw.de/Navigation/DE/Themen/industrie-40.html>.

Cole, T. (2015). Digitale Transformation: Warum die deutsche Wirtschaft gerade die digitale Zukunft verschläft und was jetzt getan werden muss!, Vahlen.

De Fauw, J., et al. (2016). "Automated analysis of retinal imaging using machine learning techniques for computer vision." F1000Research **5**: 1573.

Hee, M. R., et al. (1995). "Optical coherence tomography of the human retina." Archives of ophthalmology **113**(3): 325-332.

Izatt, J. A., et al. (1994). "Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography." Archives of ophthalmology **112**(12): 1584-1589.

Keane, P. A., et al. (2012). "Evaluation of age-related macular degeneration with optical coherence tomography." Survey of ophthalmology **57**(5): 389-414.

Klein, D., et al. (2013). "Big Data." Informatik-Spektrum **36**(3): 319-323.

Lundstrom, M., et al. (2012). "Evidence-based guidelines for cataract surgery: guidelines based on data in the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery database." J Cataract Refract Surg **38**(6): 1086-1093.

Massin, P., et al. (2010). "Safety and Efficacy of Ranibizumab in Diabetic Macular Edema (RESOLVE Study) A 12-month, randomized, controlled, double-masked, multicenter phase II study." Diabetes Care **33**(11): 2399-2405.

Mats, L., et al. (2014). "European registry for quality improvement in cataract surgery." International Journal of Health Care Quality Assurance **27**(2): 140-151.

Murdoch, T. B. and A. S. Detsky (2013). "The inevitable application of big data to health care." JAMA **309**(13): 1351-1352.

Parke, D. W. and F. Lum (2018). "Return to the Operating Room after Macular Surgery: IRIS Registry Analysis." Ophthalmology **125**(8): 1273-1278.

Parke II, D., et al. (2016). "Das IRIS®-Register." Der Ophthalmologe **6**(113): 463-468.

Puliafito, C. A., et al. "Imaging of Macular Diseases with Optical Coherence Tomography." Ophthalmology **102**(2): 217-229.

Rao, P., et al. "Real-World Vision in Age-Related Macular Degeneration Patients Treated with Single Anti-VEGF Drug Type for 1 Year in the IRIS Registry." Ophthalmology **125**(4): 522-528.

Rich, W. L., III, et al. (2018). "Performance Rates Measured in the American Academy of Ophthalmology IRIS Registry (Intelligent Research in Sight)." Ophthalmology **125**(5): 782-784.

Rosenfeld, P. J., et al. (2006). "Ranibizumab for Neovascular Age-Related Macular Degeneration." New England Journal of Medicine **355**(14): 1419-1431.



## 5. Anhang

### Schriftenverzeichnis

## Schriftenverzeichnis

### Originalarbeiten als Erst - oder Letztautor

[Predicting visual acuity by using machine learning in patients treated for neovascular age-related macular degeneration](#) – 2018, Volume 125, Issue 7, Pages 1028–1036

*Ophthalmology*

Markus Rohm, Volker Tresp, Michael Müller, Christoph Kern, Ilja Manakov, Maximilian Weiß, Dawn A. Sim, Siegfried Priglinger, Pearse A. Keane, **Karsten Kortuem**

[Implementation of virtual clinics for medical retina patients in a tertiary eye care referral centre](#) – 2018;102:1391-1395

*British Journal of Ophthalmology*

**Karsten Kortuem**, Katrin Fasler, Amanda Charnley, Hussain Khambati, Sandro Fasolo, Menachem Katz, Konstantinos Balaskas, Ranjan Rajendram, Robin Hamilton, Pearse A. Keane, Dawn A. Sim

[Differences in corneal clinical findings after standard and accelerated cross-linking in patients with progressive keratoconus](#) – 2017, 17:222

*BMC Ophthalmology*

**Karsten Kortuem**, Efstathios Vounotrypidis, Alexandros Athanasiou, Michael Müller, Alexander Babenko, Christoph Kern, Siegfried Priglinger, Wolfgang J. Mayer

[Compliance and adherence of patients with diabetic macular edema to intravitreal anti-vascular endothelial growth factor therapy in daily practice](#) – October 24, 2017 - Volume Publish Ahead of Print

*Retina*

Maximilian Weiß; Dawn Sim; Tina Herold; Ricarda G. Schumann; Raffael Liegl; Christoph Kern; Thomas Kreutzer; Johannes Schiefelbein; Miriam Rottmann; Siegfried Priglinger; **Karsten Ulrich Kortüm**

[Using Electronic Health Records to Build an Ophthalmologic Data Warehouse and Visualize Patients' Data](#) – 2017, Volume 178, Pages 84–93

*American Journal of Ophthalmology*

**Karsten U. Kortüm**, Michael Müller, Christoph Kern, Alexander Babenko, Wolfgang J. Mayer, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer, Siegfried Priglinger, Christoph Hirneiss

[Rahmenbedingungen zur Sammlung von „Real-Life“-Daten am Beispiel der Augenklinik der Universität München](#) – 2017, 234(12): 1477-1482

*Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

**Karsten Kortüm**, Christoph Kern, Gerhard Meyer, Siegfried Priglinger, Christoph Hirneiß

[The influence of a specific ophthalmological electronic health record on ICD-10 coding](#) – 2016, 16:100

*BMC Medical Informatics and Decision Making*

**Karsten Kortüm**, Christoph Hirneiß, Michael Müller, Alexander Babenko, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer

[„Smart eye data“: Entwicklung eines Fundaments für medizinische Forschung mittels Smart-Data-Applikationen](#) – June 2016, Volume 113, Issue 6, pp 469–477, Covertitel

*Ophthalmologe*

**Karsten Kortüm**, Michael Müller, Christoph Hirneiß, Alexander Babenko, Daniel Nasseh, Christoph Kern, Anselm Kampik, Siegfried Priglinger, Thomas C. Kreutzer

[Entwicklung eines augenärztlichen klinischen Informationssystems für bettenführende Augenkliniken](#) – December 2015, Volume 112, Issue 12, pp 995–1001

*Ophthalmologe*

**Karsten U. Kortüm**, Michael Müller, Alexander Babenko, Anselm Kampik, Thomas C. Kreutzer

[Evaluation von internetbasierten Softwareanwendungen zur Verwaltung und Organisation eines klinischen Studienzentrums in der Augenheilkunde](#) – 2013; 230(7): 715-720

*Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

**Karsten Kortüm**, Lukas Reznicek, Simon Leicht, Michael Ulbig, Armin Wolf

## Originalarbeiten als Koautor

[Long-term database analysis of conventional and accelerated crosslinked keratoconic mid-European eyes](#) – 2018, Jun; 256(6): 1165-1172

*Greafe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*

Efstathios Vounotrypidis, Alexis Athanasiou, **Karsten Kortüm**, Daniel Kook, Mehdi Shajari, Siegfried Priglinger, Wolfgang J. Mayer

[Comparison of two different calculators for toric intraocular lens calculation](#) – Vol. 2018, Article ID 2840246, 9 pages

*Journal of Ophthalmology*

Christoph Kern, **Karsten Kortuem**, Michael Müller, Anselm Kampik, Siegfried George Priglinger, Wolfgang J. Mayer

[Comparison of visual outcomes, alignment accuracy, and surgical time between 2 methods of corneal marking for toric intraocular lens implantation](#)

– 2017, Volume 43, Issue 10, Pages 1281–1286

*Journal of Cataract and Refractive Surgery*

Wolfgang J. Mayer, Thomas Kreutzer, Martin Dirisamer, Christoph Kern, **Karsten Kortuem**, Efstathios Vounotrypidis, Siegfried Priglinger, Daniel Kook

[Incidence of secondary glaucoma after treatment of uveal melanoma with robotic radiosurgery versus brachytherapy](#) – 2017, Volume 95, Issue 8,

December 2017, Pages e734-e739

*Acta Ophthalmologica*

Jakob Siedlecki, Veronika Reiterer, Simon Leicht, Paul Foerster, **Karsten Kortüm**, Ulrich Schaller, Siegfried Priglinger, Christoph Fuerweger, Alexander Muacevic, Kirsten Eibl-Lidner

[Correlation between weather and incidence of selected ophthalmological diagnoses: A database analysis](#) –Volume 2016:10 Pages 1587–1592

*Clinical Ophthalmology*

Christoph Kern, **Karsten Kortüm**, Michael Müller, Florian Raabe, Wolfgang J. Mayer, Siegfried Priglinger, Thomas Christian Kreutzer

[Inzidenz von Zentralvenen- und Venenastverschlüssen während der Fußballweltmeisterschaft 2014: Eine Datenbankanalyse](#) – September 2016,

Volume 113, Issue 9, pp 763–766

*Ophthalmologe*

Felice, Lob, **Karsten Kortüm**, Michael Müller, Josef März, Simon Leicht, Kristina Prause, Siegfried Priglinger, Thomas Kreutzer

[Evaluation of a Vision-Related Utility Instrument: The German Vision and Quality of Life Index](#) – February 2013, Vol.54, 1289-1294

*Investigative Ophthalmology & Visual Science*

Robert P. Finger, **Karsten Kortuem**, Eva Fenwick, Bettina von Livonius, Jill E. Keeffe, Christoph Hirneiss

[Optimizing visualization in enhanced depth imaging OCT in healthy subjects and patients with retinal pigment epithelial detachment](#) – Volume 2012:6

Pages 1915—1920

*Clinical Ophthalmology*

Lukas Reznicek, Efsthios Vounotrypidis, Florian Seidensticker, **Karsten Kortuem**, Anselm Kampik, Aljosha Neubauer, Armin Wolf

## Kasuistiken/Case Reports

[Randunscharfe Papille unklarer Genese bei einem 30-jährigen Patienten](#) –

January 2014, Volume 111, Issue 1, pp 61–64

*Ophthalmologe*

**Karsten U. Kortüm**, Anna Bräg, Michael Ulbig

[Behandlung zweier Patienten mit einer zeitgleichen, arbeitsbedingten Augenlaugenverätzung und konsekutiver rezidivierender Erosio corneae mittels phototherapeutischer Keratektomie](#) – 2014, 231(9): 921-923

*Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

Gábor Tóth, **Karsten Kortüm**, Andrea Gyenes, Tamás Filkorn, Zoltán Zsolt Nagy

[Stellenwert ophthalmologischer Bildgebung bei häufigen hereditären Netzhauterkrankungen](#) – 2013; 230(3): 223-231

*Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

**Karsten Kortüm**, Marcus Kernt, Lukas Reznicek

## Übersichtsartikel/Reviews

[Lebensqualität bei Glaukompatienten](#) – 2016, 233(02): 148-153

*Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*

Christoph Hirneiss, **Karsten Kortüm**

## Sonstige Veröffentlichungen

[Smart Data: Möglichkeiten für klinische Forschung und Translation in die Praxis](#), Editorial, *Ophthalmologe* Juni 2016, Volume 113, Issue 6, pp 456–456

Smart Eye Data – Ophthalmologie 4.0? – *Der Augenspiegel* – 2015, 12/2015, Seiten 36-41

Prozessoptimierung in der ophthalmologischen Bildgebung – *Der Augenspiegel* – 2012, 11/2012, Seiten 24-29